3~6 岁幼儿对智能语音助手在不同领域的知识性信任*

李喆[1] 刘浙豫[1] 毛珂妤[1] 李婉婷[1] 李婷玉[1*] 李晶[2,3]
([1]浙江师范大学儿童发展与教育学院，浙江杭州，311231)
([2]中国科学院心理研究所，中国科学院行为科学重点实验室，北京，100101)
([3]中国科学院大学心理学系，北京，100049)

摘要：
[目的] 基于双信息源实验范式，考察 3~6 岁幼儿和成人对智能语音助手(Digital Voice Assistants, DVAs)的知识性信任，并验证准确性在其信任中的作用。
[方法] 实验一，操纵了信息源类型(DVAs VS 人类)和知识领域(自然 VS 社会)。基于实验一，实验二操纵了两种信息源提供证言的准确性条件。
[结果] 实验一结果显示，与人类相比，幼儿和成人对 DVAs 的知识性信任更强。对 DVAs 的信任程度，6 岁幼儿高于 4、5 岁幼儿，成人高于幼儿。与社会领域相比，幼儿和成人均更倾向于询问 DVAs 自然领域的问题。实验二结果发现，当 DVAs 不准确时，幼儿和成人均不再信任其证言，且 3 岁幼儿对准确性的敏感性较低。
[局限] 并未包含询问归因任务；实验材料缺乏一定生态性。
[结论] 研究结果表明，信息源类型、知识领域和证言准确性都会影响幼儿的知识性信任，准确性是评估 DVAs 可靠性的重要标准。
关键词：3~6 岁幼儿；知识性信任；DVAs ；准确性；领域特殊性

分类号：B844

The Epistemic Trust of 3- to 6-Year-Olds in Digital Voice Assistants in Various Domains

LI Zhe[1]; LIU Zheyu[1]; MAO Keyu[1]; LI Wanting[1]; LI Tingyu[1*]; LI Jing[2,3]
([1]College of Child Development and Education, Zhejiang Normal University, Hangzhou 311231, China)
([2]Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Behavioral Sciences, Beijing 100101, China)
([3]Department of psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:
[Objective] A new generation of interactive models, called digital voice assistants (DVAs), can respond to young children's speech requests automatically and interact with them by voice. Research on the development of young children's epistemic trust in DVAs is scarce. Previous research has concentrated on the development and influencing factors of young children's epistemic trust in human informants or

* 本文系浙江省软科学重点项目(2021C25028)和国家自然科学基金项目(31971009)的研究成果之一。

traditional electronic media (e.g., computers, webpages, internet). The semisocial nature of these devices determines the specific theoretical and practical value of investigating young children's epistemic trust in DVAs. Based on this, the purpose of the current study was to investigate the epistemic trust of young children (aged 3-6) and adults in DVAs in various domains and to confirm the significance of accuracy in their trust.

[Methods] The paradigm of dual-informant sources was employed in both experiments. A sample size of 88 children was required for an effect size of w= 0.30, 1 - β = 0.8, α = 0.05, according to G*Power 3.1. In Experiment 1, 30 adults and 90 children aged 4-6 were given testimony from distinct information sources (DVAs vs. humans) in either the natural or social domain to investigate the children's willingness to ask questions, explicit trust judgments, and final endorsements. Whereas the natural domain involved a task to label novel things, the social domain involved inquiry into social customs. The accuracy of the informants was manipulated in Experiment 2, which was based on Experiment 1, and 90 children aged 3-5 and 30 adults were exposed to various informants.

[Results] The research participants were asked questions about their willingness to ask, explicit trust judgments, and final endorsements. The results of Experiment 1 showed that the children preferred to ask the DVAs questions about the natural domain rather than the social domain, with the DVAs being preferred overall . Moreover, the 6-year-old children preferred the DVAs as the information source more than the 4- to 5-year-old children. The adults were more likely to trust the DVAs than the young children. The results of Experiment 2 revealed that the children of all ages and adults were more likely to accept correct informant testimony in both the natural and social domains. In other words, the children were more likely to use the current accuracy of informants as a cue to assess and decide which informant to trust, and when the DVAs lost their accuracy, the children's preference disappeared along with their intellectual trust. The preference for accurate informants was more obvious in the adults and 4- to 5-year-olds than in the 3-year-olds, with the 3-year-olds being less sensitive to accuracy. Accuracy was an essential indicator of the DVAs' dependability.

[Limitations] This study did not include attribution tasks and the experimental material lacked some ecological properties.

[Conclusions] Our study is the first to investigate the development of epistemic trust in DVAs among children aged 3-6 in China. The results show that children can use DVAs as a source of information and knowledge. Young children become more likely to believe the testimonies of DVAs as they grow older. Children are more likely to trust DVAs in the natural domain than in the social domain. Furthermore, young children are more likely to accept the testimony of reliable informants. The results of this study may contribute to our understanding of the usability and utility of human interaction with technological systems and offer suggestions for the use of DVAs in homes and classrooms to support early learning.

Keywords: 3- to 6-year-olds; epistemic trust; digital voice assistants (DVAs); accuracy; domain specificity

1 引言

近年来随着智能语音技术的不断进步和产品的普及，儿童接触各类智能语音助手(又称数字语言助手、对话机器人、智能个人助理、虚拟机器人等)(Digital Voice Assistants，DVAs)的机会和时间大大增加，2020 年 Common Sense Media 发布的关于儿童电子媒体使用情况的报告显示，41%的 0~8 岁美国幼儿家中有智能语音设备[1]。然而，在 2017 年，这一比例仅为 9%[2]。同时，据不完全统计，截至 2020 年底，支持智能语音交互的设备总数已超过 40 亿，并有望在 2024 年超过世界人口的数量[3]。DVAs 能够自动识别幼儿的语音询问信息并与幼儿进行语音交互，避免了基于识字的网络检索所需的先决条件[4]，有利于幼儿更早地与 DVAs 互动学习。DVAs 所具有的自然的人机交互方式、便捷的知识获取模式，或将改变幼儿的学习方式[5]。研究表明，尽管幼儿可以利用 DVAs 的扩展功能，如听音乐等娱乐功能，但他们对这些功能的使用频率远低于使用 DVAs 获取信息的频率，幼儿更多地将 DVAs 作为信息来源而不是娱乐工具[6]。

近二十年来，发展心理学的研究表明知识性信任(Epistemic trust)是幼儿获得知识的重要途径[7]。幼儿通过信息源提供信息进行学习的方式被称为知识性信任，或选择性信任(Selective trust)，也称为选择性社会学习(Selective social learning)。幼儿通过询问 DVAs，并从 DVAs 的语音输出中获取信息来完成学习的过程，可视为幼儿对 DVAs 的知识性信任[8]。在此框架下，幼儿的 DVAs 学习过程可被概念化为判断、选择和接受 DVAs 证言的过程[7-8]。

Girouard-Hallam 和 Danovitch[8]对 4~5 岁幼儿和 7~8 岁儿童对 DVAs 的知识性信任程度进行了研究，结果显示，随着年龄的增长，幼儿更倾向于向 DVAs 寻求事实信息。然而，该研究是当前仅有的一项关于幼儿对 DVAs 知识性信任的研究，且存在多方面的不足，进一步考察幼儿对 DVAs 知识性信任的发展是有必要的。首先，被试年龄跨度较大，存在一定程度的非连续性和不完整性。同时，考虑到已有的基于人类信息提供者的研究发现，4 岁以下的幼儿可能存在轻信倾向(bias to believe)，即不加选择地相信他人所提供的信息(即使有明显的证据表明证言是错误的)[9-11]，因此，有必要连续地考察 3~6 岁幼儿对 DVAs 的知识性信任的年龄差异。第二，在实验一中，DVAs 和人类对同一问题分别提供了相同的答案，再由幼儿判断两者的证言是否正确，该方法将极大影响该研究的效度。年幼幼儿可能会不加选择地认可不同信息提供者的回答[10]，也可能会倾向于说“是”[12]。第三，尽管研究者将实验二改为由幼儿选择 DVAs 和人类谁可以提供正确的回答，但事实上两者并未提供证言，幼儿在实验过程中并没有与信息源进行有效的学习互动，对幼儿知识性信任的考察是不完整的。最后，实验二仅设置了有关知识性信任的询问问题(“谁能给我们正确的答案？”)，以往研究发现，“询问意愿”并不是知识性信任的可靠指标[13]，忽视幼儿对 DVAs 证言的选择和采信过程将极大削弱该研究的效度。因此，后续研究应增加外显信任判断和最终判断任务，完整考察 3~6 岁幼儿对 DVAs 证言的评估和采信。

幼儿对 DVAs 的知识性信任，其关键可能是 DVAs 的准确性。一方面，尽管幼

儿可以通过多种标准去评估言语证言，例如，考虑信息源的专业性与准确性[14-16]、良好的动机和意图[17-20]以及社会关系的熟悉性[21-22]等，但这些标准很少可以应用于鉴别 DVAs 的可靠性。因为 DVAs 不具有道德、动机等属性，因此原则上可能只有一种标准能够适用于 DVAs，即准确性。已有研究发现准确性可能会影响幼儿对 DVAs 的知识性信任，如有研究表明幼儿会要求 DVAs 在回答问题前证明其准确性[23]。另一方面，幼儿能够基于准确性对电子媒体信息源进行知识性信任，也可能会将准确性标准应用于 DVAs。Danovitch 和 Alzahabi 发现，3~5 岁幼儿在回答关于陌生事物的问题时，倾向于信任以前准确的电脑提供的信息，而不相信错误的电脑[24]。近期一项研究发现，8~10 岁的儿童可以在排版错误的条件下区分网页的准确性，并倾向于从准确的网页获取信息[25]。然而，考虑到与传统电子媒体(电脑和网页)相比，DVAs 可与幼儿进行语音交互，能够为幼儿提供互动式的学习问答与情感交流，对幼儿具有更强吸引力。甚至有研究发现超过半数的 3~10 岁儿童认为 DVAs 具有部分心理属性(聪明的等)(92.80%)、道德属性(能和“我”成为朋友等)(65.00%)和社会属性(能教“我”知识等)(89%)[26,27,8]。DVAs 是同时具有社会属性(例如，能用语言与人类交流)和非社会属性(例如，缺乏非语言线索：点头、面部表情等)的半社会型媒体[27]，不属于现有的任何本体论类别[28]。由此，一个值得探索的问题是，如果操纵 DVAs 的准确性，幼儿是否仍会信任不准确的 DVAs 给予的信息，研究结果将验证幼儿对 DVAs 的知识性信任是否取决于其准确性。DVAs 的独特的半社会属性决定了探究幼儿对 DVAs 的知识性信任具有独特的理论价值与现实价值。

幼儿的知识性信任可能存在领域特殊性，表现为幼儿对 DVAs 提供的不同领域证言可能存在知识性信任的差异。很多研究者都提出，幼儿对不同领域证言的知识性信任存在差异，张璟等发现，在线索冲突情境下，幼儿对自然和社会领域知识的知识性信任具有不同的年龄发展特点[29]。Girouard-Hallam 和 Danovitch 发现在涉及过去或现在的问题上，7~10 岁儿童更愿意选择信任谷歌提供的信息，而在有关未来的问题上，儿童认为人类和谷歌都不能提供准确的答案[30]。最近，Girouard-Hallam 和 Danovitch 在研究中将研究问题分为三大维度——稳定的事实类信息、瞬时的事实类信息和个人信息，并发现随着年龄的增长，幼儿对 DVAs 提供的稳定的、瞬时的事实类信息表现出更大的信任，同时在个人信息方面更加偏向于信任人类，7~8 岁儿童几乎都认为人类是个人信息问题的更好信息提供者[8]。但考虑到 Girouard-Hallam 和 Danovitch 的被试选取的局限性，幼儿阶段对 DVAs 在不同领域的知识性信任是否存在差异，仍值得进一步探索。同时，产生上述领域特殊性的原因可能是幼儿认识到不同的信息提供者具有不同的领域专业性。研究表明，幼儿对拥有专业知识的信息提供者表现出更强烈的信任偏好，例如，幼儿更愿意支持动物管理员提供的有关动物的证词[31]，更重视医生提供的关于药物和疾病原因的信息等[32]。因此，本研究将控制 DVAs 提供有关不同领域(自然领域和社会领域)问题的证言，以验证幼儿对 DVAs 的知识性信任是否存在领域特殊性。

综上，DVAs 作为数字时代的媒体信息源，幼儿对其知识性信任的发展和特点是一个值得探讨的问题，基于以往研究的不足，本研究将重点考察以下问题：第一，面对不同的信息提供者(DVAs VS 人类)，不同年龄段的幼儿是否能将 DVAs 视为与人类一样可靠的信息来源，并信任其提供的证言。第二，幼儿对 DVAs 的知识性信任是否取决于其准确性。本研究在实验二中操控信息提供者的准确性条

件，以探究当 DVAs 缺乏准确性时，幼儿是否仍选择信任其提供的信息。研究者预测，准确性是影响幼儿对 DVAs 的知识性信任的核心标准，即当 DVAs 不再准确时，幼儿对其的信任偏好也会随之消失。第三，幼儿对 DVAs 在不同领域的知识性信任是否存在差异，本研究将证言内容分为自然领域和社会领域，以探究幼儿对 DVAs 知识性信任的领域特殊性。研究者预测，在社会领域中，幼儿可能会倾向于选择更具有社会属性的人类作为询问和采信的对象。

2 实验一

2.1 被试

根据 G*Power 3.1 计算，在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 且效应量 $w = 0.30$ 时，预测达到 80%的统计力水平，所需样本至少为 88 人。本实验选取了某幼儿园三个年龄组的幼儿共 90 名以及成人被试 30 名(男女各半)。其中，4 岁组 30 名(月龄 M = 53.33, SD = 3.06)；5 岁组 30 名(月龄 M = 65.70, SD = 2.80)；6 岁组 30 名(月龄 M = 75.60, SD = 1.72)；成人组 30 名(年龄 M = 21.85, SD = 7.22)。本实验已通过所在单位的伦理审核，并经幼儿所在幼儿园同意，由园方与幼儿的监护人进行沟通，已获得其监护人的知情同意。

2.2 实验材料

DVAs(小米音箱)——“小爱”以及女性成人——“圆圆”作为不同类型的信息提供者(图 1)。信息提供者提供证言的过程为事先录制的视频，在实验过程中，主试操纵视频的播放时间和内容，使两个信息提供者看似可以实时回答被试的问题。



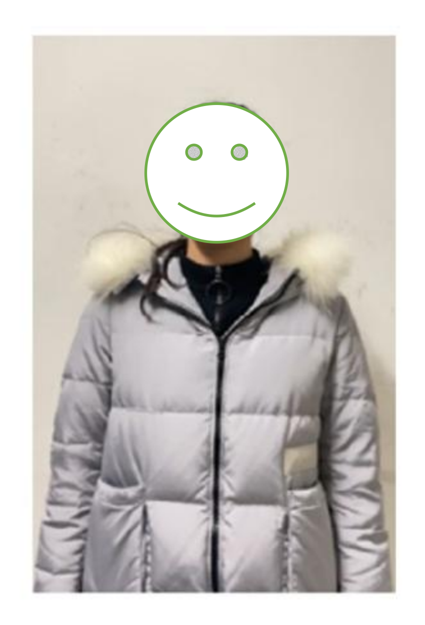


图 1 信息提供者图片(左“小爱”，右“圆圆”)

自然领域的实验材料采用研究者自制的新异物品图片(表 1)，其名称为无意义的叠字假词。幼儿对实验材料的熟悉度和喜好度预先经过评定，通过对 30 名未参与实验的被试幼儿的询问，确保幼儿对材料图片不认识，且对图片和人造名称均没有偏好。实验材料最终通过 PPT 的形式向被试幼儿展示。

表 1 自然领域实验材料和名词表

图片	名称 1	名称 2
	Kaka	Hoho
	Biubiu	Kuku
	Soso	Nunu
	Koko	Miumiu

社会领域的任务为习俗情境故事，参考并改编了 Clément 等人[33]的研究材料，如下表 2 所示。主试首先介绍情境背景“这是我们的好朋友丁丁，但是这个小朋友是 bongbonglolo 民族，他的生活习惯和我们很不一样。他想邀请你去参加一个 bongbonglolo 节日。”被试会被要求回答四个社会领域问题，例如“你应该穿什么特别的服装去参加这个节日”（图 2）。问题及回答如下表 2 所示。

表 2 社会领域问题和回答表

问题	证言内容	
你应该穿什么特别的服装去参加这个节日？	我应该穿 ruru 去参加这个节日	我应该穿 gingin 去参加这个节日
你应该带什么东西去表达祝福呢？	我应该带 chichi 去表达祝福	我应该带 fufu 去表达祝福
你应该对别人说什么代表祝福呢？	我应该对别人说 fifi 代表祝福	我应该对别人说 riri 代表祝福
你走的时候应该说什么表达感谢？	我走的时候应该说 gigi 表达感谢	我走的时候应该说 toto 表达感谢

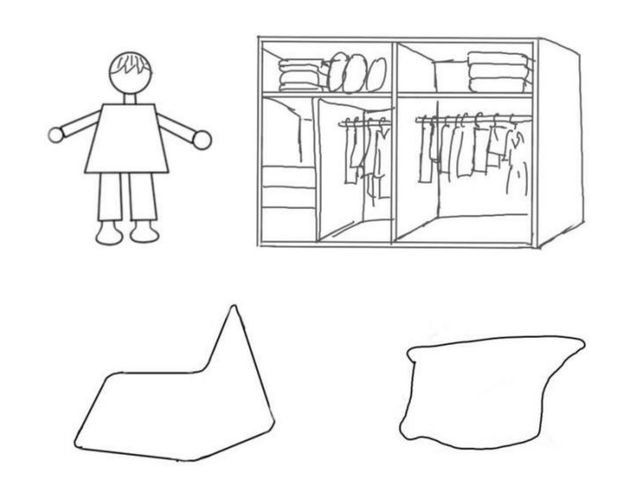


图 2 “你应该穿什么特别的服装去参加这个节日”图(左“ruru”，右“gingin”)

2.3 研究过程

实验在幼儿园安静的房间中进行，主试与被试幼儿一对一进行实验，用时约 10min，研究过程见图 3 所示。

热身阶段 主试与幼儿进行一些简单的互动，如讨论幼儿喜欢的动画片、朋友、运动等等，让幼儿放松下来。然后向幼儿介绍，他们将参与一个游戏，并介绍人类“圆圆”和 DVAs“小爱”将与其共同完成下面的游戏。

测验阶段

询问意愿问题 在自然领域任务中，主试出示 4 个新异物品(由研究者自制)图片(见表 1)，并询问幼儿“你知道它是什么吗？”；在社会领域任务中，主试向幼儿介绍问题情境，并提出相关问题(见表 2)，如“你知道你应该……吗？”，幼儿将表达不知道答案，随后，主试询问幼儿“圆圆和小爱同学都知道这个问题的答案，你想要问谁？”幼儿选择“小爱”计为“1”，选择“圆圆”计为“0”。

提供证言 实验采用冲突信息源范式[15-16]，“圆圆”和“小爱”作为信息源，为幼儿提供关于 4 个新异物品的名称(见表 1)或者 4 个情境下应该如何去做的建议(见表 2)。实验中图片出现的顺序、社会情境任务的顺序、信息提供者的位置、信息源提供的证言、证言的提供顺序等均经过事先的平衡。

选择信任问题 主试询问幼儿：“你觉得谁说的对，你信任谁说的话？”如果幼儿没有回答或者没有明确做出判断，主试将重复两位信息提供者的证言，并请幼儿选择信任“圆圆”还是“小爱”的证言。选择“小爱”计为“1”，选择“圆圆”计为“0”。

最终判断问题 主试询问幼儿：“现在， 你觉得这个物品是什么？/你觉得应该如何做？”主试记录幼儿的回答。幼儿的认知判断与“小爱”的证言一致计为“1”，与“圆圆”的证言一致计为“0”。

去处理阶段 跟幼儿简要说明研究目的，向幼儿致谢，赠送礼物并送幼儿回到班级。

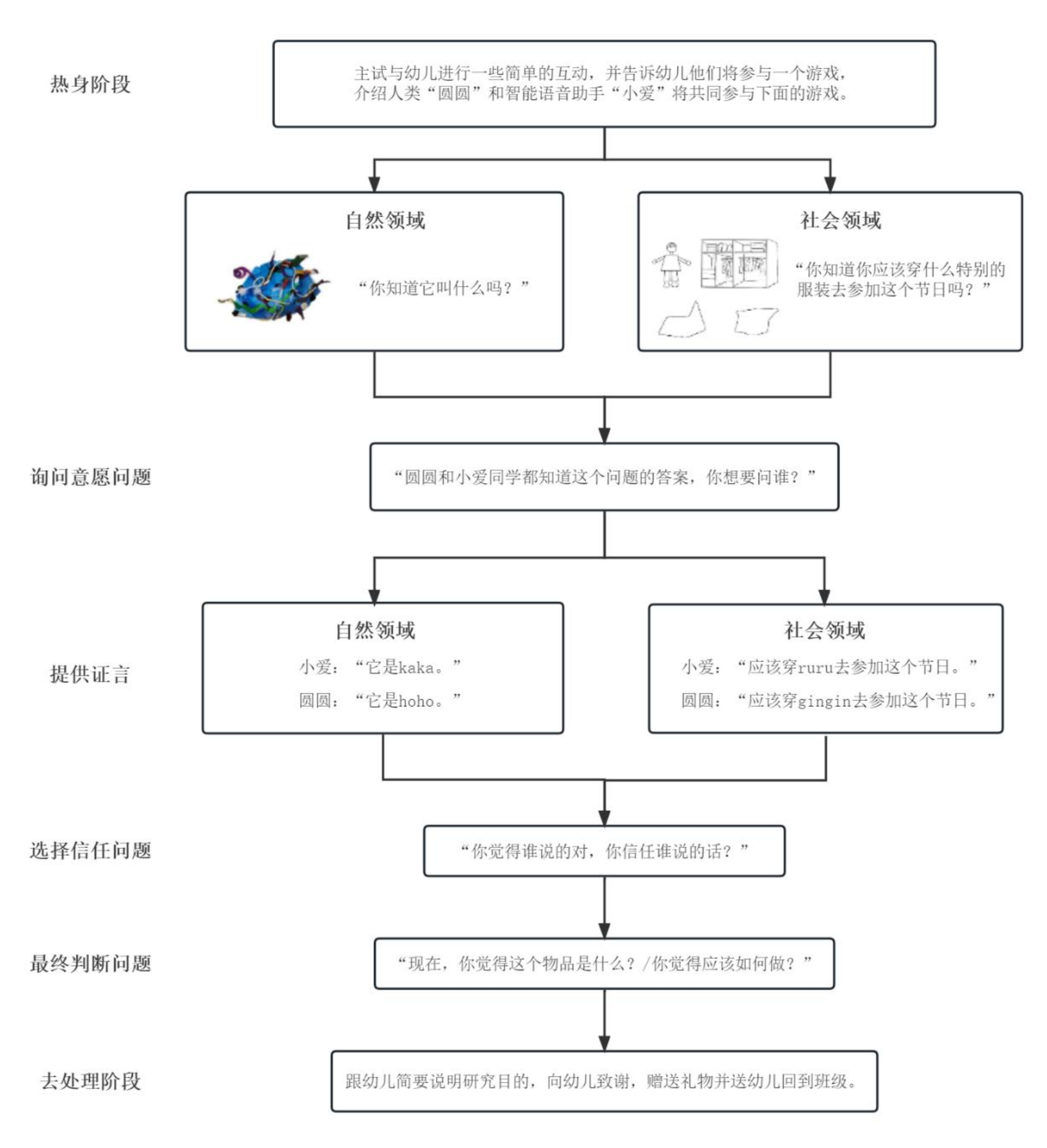


图 3 实验一研究过程流程图

2.4 实验设计

实验采用 4(年龄：4 岁/5 岁/6 岁/成人)×2(信息提供者：人类 VS DVAs)×2(问题的领域：自然 VS 社会)三因素混合实验设计，年龄和问题领域为组间自变量，信息提供者为组内自变量，因变量为被试对信息提供者的询问选择、证言选择以及被试的最终判断与哪位信息提供者(DVAs VS 人类)一致。

2.5 统计分析

在本研究中，因变量为重复测量的分类数据(幼儿对信息提供者的询问意愿、外显信任与最终判断)，数据为二项分布。因此，本研究使用 R4.2.2 版中 lme4 软件包中的 glmer 函数和 BOBYQA 优化器建立"广义线性混合模型"(generalized linear mixed model, GLMM)对结果进行统计分析。

2.6 结果与讨论

（1）幼儿对信息提供者证言的询问意愿

对幼儿及成人在自然领域和社会领域对 DVAs 的平均询问意愿进行分析，结果如图 4 所示。

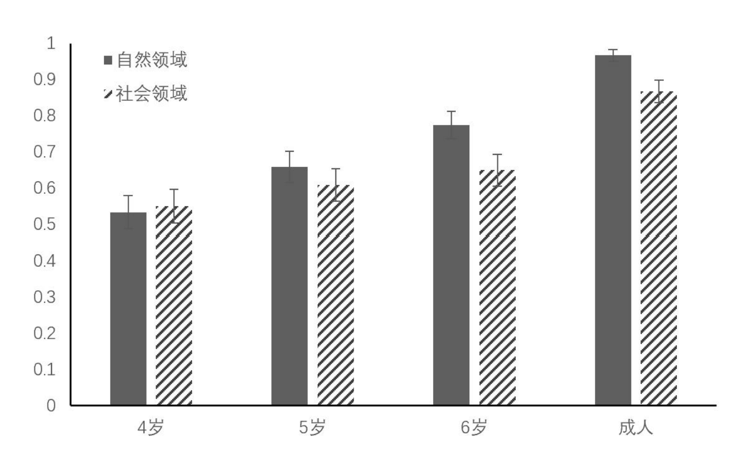


图 4 幼儿与成人在不同领域对 DVAs 的平均询问意愿

将幼儿对 DVAs 在不同领域(自然 VS 社会)的知识性信任(询问意愿)作为因变量，GLMM 全模型包含以下固定效应(fixed effect)：年龄、领域、年龄和领域的交互作用，随机变量(random factor)包括幼儿 ID 和试次。通过主成分分析法逐一缩减随机斜率与随机截距，最终模型的结果表明领域主效应显著($\chi^2 = 3.85$, $df = 1$, $p = 0.050$)，年龄主效应显著($\chi^2 = 60.12$, $df = 3$, $p < 0.001$)，领域和年龄的交互作用不显著($\chi^2 = 3.85$, $df = 3$, $p = 0.084$)。对领域进行事后比较发现，幼儿在社会领域选择询问 DVAs 的意愿显著低于自然领域($t = 2.19$, $p = 0.029 < 0.05$, $d = 0.14$)。对年龄进一步进行事后比较发现，相较于幼儿，成人更愿意选择询问 DVAs(成人 - 4 岁: $t = 9.39$, $p < 0.001$, $d = 0.93$; 成人 - 5 岁: $t = 7.10$, $p < 0.001$, $d = 0.72$; 成人 - 6 岁: $t = 5.11$, $p < 0.001$, $d = 0.54$)，年龄越大的幼儿越倾向于选择询问 DVAs(5 岁 - 4 岁: $t = 2.30$, $p = 0.022 < 0.05$, $d = 0.19$; 6 岁 - 4 岁: $t = 4.28$, $p < 0.001$, $d = 0.36$; 6 岁 - 5 岁: $t = 1.98$, $p = 0.048 < 0.05$, $d = 0.17$)。

以上结果说明，成人与幼儿对 DVAs 的初始信任偏好受到不同问题领域的影响，相较于社会领域问题，成人与幼儿在自然领域问题的初始询问中均更倾向于选择 DVAs。同时，相较于幼儿，成人在初始询问中更愿意选择 DVAs，年龄越大的幼儿越倾向于选择询问 DVAs。

（2）幼儿对信息提供者的外显信任

对幼儿及成人在自然领域和社会领域对 DVAs 的平均外显信任进行分析，结果如图 5 所示。

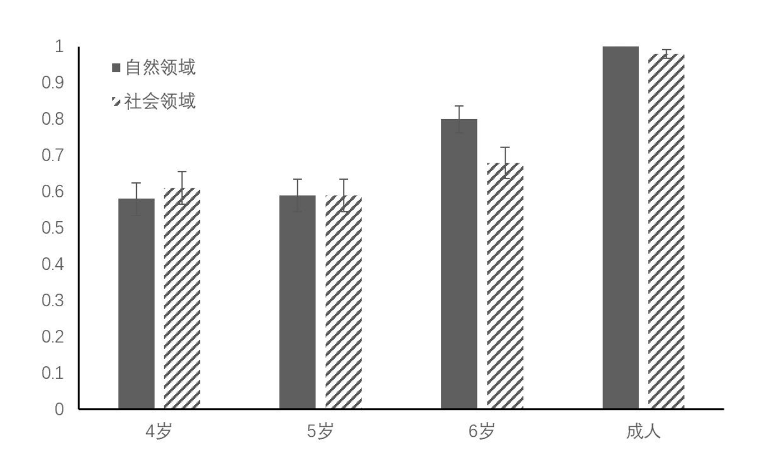


图 5 幼儿与成人在不同领域对 DVAs 的平均外显信任

将幼儿对 DVAs 在不同领域(自然 VS 社会)的知识性信任(外显信任)作为因变量，GLMM 全模型包含以下固定效应：年龄、领域、年龄和领域的交互作用，随机变量包括幼儿 ID 和试次，通过主成分分析法逐一缩减随机斜率与随机截距，最终模型的结果表明领域主效应不显著($\chi^2 = 0.45$, $df = 1$, $p = 0.502$)，年龄主效应显著($\chi^2 = 32.37$, $df = 3$, $p < 0.001$)，领域和年龄的交互作用不显著($\chi^2 = 2.68$, $df = 3$, $p = 0.443$)。对年龄进一步进行事后比较发现，相较于幼儿，成人更愿意选择信任 DVAs(成人 - 4 岁：$t = 10.48$, $p < 0.001$, $d = 1.12$；成人 - 5 岁：$t = 10.59$, $p < 0.001$, $d = 1.13$；成人 - 6 岁：$t = 6.62$, $p < 0.001$, $d = 0.79$)；相较于 4、5 岁幼儿，6 岁幼儿更愿意选择信任 DVAs(6 岁 - 4 岁：$t = 3.86$, $p < 0.001$, $d = 0.31$；6 岁 - 5 岁：$t = 3.97$, $p < 0.001$, $d = 0.32$)。

以上结果说明，相较于幼儿，成人更愿意选择信任 DVAs，相较于 4 岁和 5 岁幼儿，6 岁幼儿更愿意选择信任 DVAs。

（3）幼儿对信息提供者的最终判断

对幼儿及成人在自然领域和社会领域对 DVAs 的平均最终判断进行分析，结果如图 6 所示。

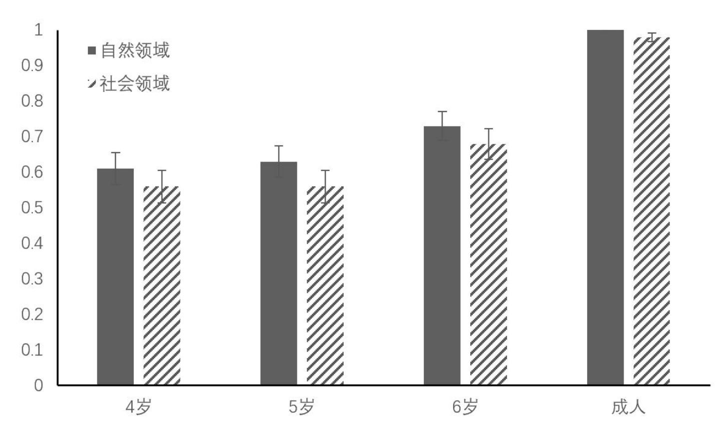


图 6 幼儿与成人在不同领域对 DVAs 的平均最终判断

将幼儿对 DVAs 在不同领域(自然 VS 社会)的知识性信任(最终判断)作为因变量，GLMM 全模型包含以下固定效应：年龄、领域、年龄和领域的交互作用，随机变量包括幼儿 ID 和试次，通过主成分分析法逐一缩减随机斜率与随机截距，最终模型的结果表明领域主效应不显著($\chi^2 = 1.81$, $df = 1$, $p = 0.178$)，年龄主效应显著($\chi^2 = 33.49$, $df = 3$, $p < 0.001$)，领域和年龄的交互作用不显著(χ^2

= 0.20, df = 3, p = 0.978)。对年龄进一步进行事后比较发现，相较于幼儿，成人更愿意最终信任 DVAs(成人 - 4 岁: t = 10.67, $p < 0.001$, d = 1.15; 成人 - 5 岁: t = 10.46, $p < 0.001$, d = 1.13; 成人 - 6 岁: t = 7.41, $p < 0.001$, d = 0.86)；相较于 4、5 岁幼儿，6 岁幼儿更愿意最终信任 DVAs(6 岁 - 4 岁: t = 3.27, p = 0.001, d = 0.26; 6 岁 - 5 岁: t = 3.05, p = 0.002 < 0.01, d = 0.25)。

以上结果说明，相较于幼儿，成人更愿意最终接受 DVAs 的证言；同时，6 岁幼儿的最终判断与外显信任保持一致，相比于 4、5 岁组幼儿，6 岁组幼儿更愿意最终接受 DVAs 的证言。

以上结果说明，随着年龄增长，所有幼儿对 DVAs 的信任程度越来越高，6 岁组较 4、5 岁组幼儿更倾向于信任 DVAs；成人对 DVAs 的信任程度高于幼儿。这一结果符合预期，说明随着年龄增长和社会经验的增加，幼儿愈发认为 DVAs 可以更好地提供信息。相较于社会领域问题，成人与幼儿在自然领域问题的初始询问中更倾向于选择 DVAs。这与以往研究发现幼儿对自然领域和社会领域的证言的知识性信任存在差异的结果[33-35,29]一致。同时，以往研究发现，年幼幼儿(3 岁)已经知道知识是有领域特殊性的，信息提供者的知识是一种认知劳动的分工[36]。幼儿可能会认为在自然领域 DVAs 及其背后的互联网和人工智能比人类具有更高的专业权威。考虑到 DVAs 也可能提供错误和不真实的证言，如果幼儿判断 DVAs 可靠性的核心依据是准确性，那么值得验证的问题是，当 DVAs 失去准确性时，幼儿是否仍然认为 DVAs 是可信的。因此，实验二将对 DVAs 与人类的准确性进行操纵，以验证准确性是否是幼儿评估 DVAs 可信度的核心标准。鉴于实验一的结果显示，4 岁幼儿已具备与年长幼儿和成人类似的理性的知识性信任决策能力，而以往研究发现 4 岁以下幼儿更可能存在轻信倾向[9-11]。为了考察幼儿对 DVAs 知识性信任的发展规律，有必要从更年幼的幼儿(3 岁)开始连续考察幼儿对 DVAs 知识性信任的发展情况。基于此，实验二将被试年龄向下扩展到 3 岁，以探究更年幼的幼儿对 DVAs 的知识性信任。

3 实验二

3.1 被试

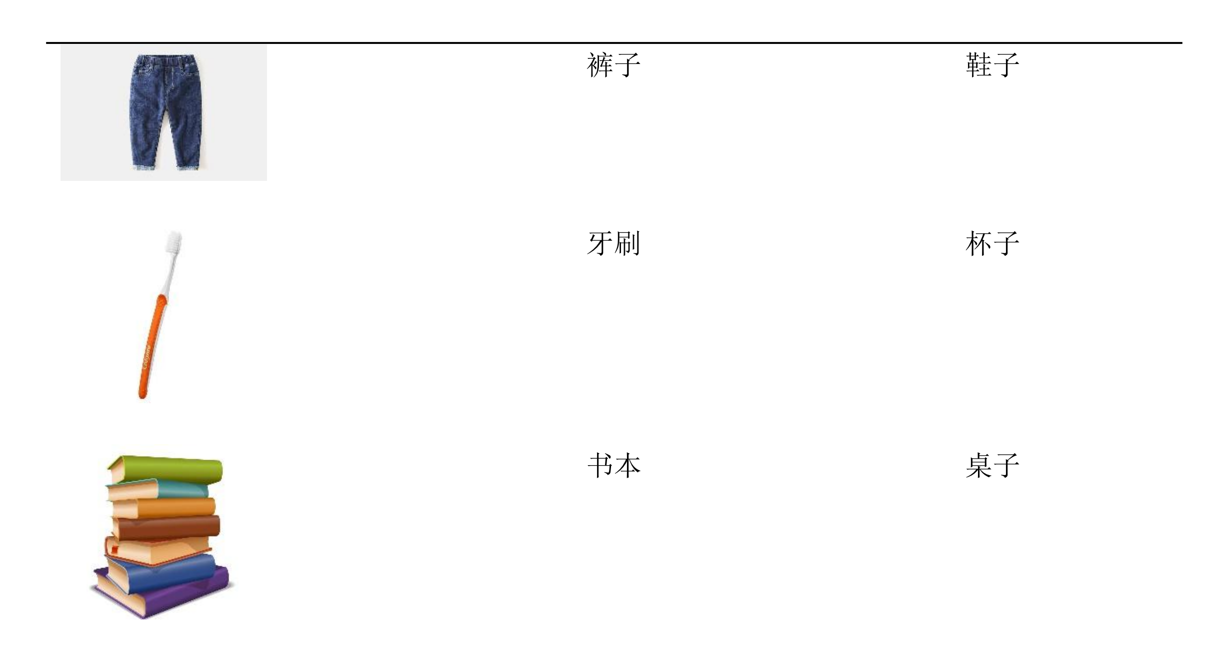
根据 G*Power 3.1 计算，在显著性水平 α = 0.05 且效应量 w = 0.30 时，预测达到 80%的统计力水平，所需样本至少为 88 人。本实验选取了某幼儿园三个年龄组的幼儿共 90 名以及成人被试 30 名(男女数量各半)。其中，3 岁组 30 名(月龄 M = 44.77, SD = 2.57)；4 岁组 30 名(月龄 M = 56.43, SD = 3.57)；5 岁组 30 名(月龄 M = 65.60, SD = 3.56)；成人组 30 名(年龄 M = 21.70, SD = 7.11)。所有被试均未参与过实验一的实验。本实验已通过所在单位的伦理审核，并经幼儿所在幼儿园同意，由园方与幼儿的监护人进行沟通，已获得其监护人的知情同意。

3.2 实验材料

与实验一基本相同。熟悉阶段的物品及其名称如表 3 所示。

表 3 熟悉阶段物品及名称表

物品图片	正确名称	错误名称



	裤子	鞋子
	牙刷	杯子
	书本	桌子

3.3 研究过程

与实验一基本相同，仅在热身阶段后加入熟悉阶段，并在熟悉阶段中操纵信息提供者的准确性历史(见图 7)。

热身阶段

与实验一相同。

熟悉阶段

主试告诉幼儿自己会拿出几张图片，“小爱”和“圆圆”会告诉他们这是什么。幼儿被随机分配到“小爱不准确，圆圆准确”或“小爱准确，圆圆不准确”的条件下，在“小爱不准确，圆圆准确”下，主试告诉幼儿每次“圆圆”都会提供“对的”的回答，而“小爱”则会提供“错的”回答。反之，对“小爱准确，圆圆不准确”条件下的幼儿来说，“小爱”是可靠的信息来源。

接下来，主试连续出示三张熟悉物品图片(见表 3)，并让两个信息提供者告知幼儿该物品的名称，准确的信息提供者总是回答正确，不准确的信息提供者总是回答错误，例如主试出示“裤子”的图片，准确的信息提供者指出它是“裤子”，而不准确的信息提供者则回答“鞋子”。实验中图片出现的顺序、信息提供者的位置、信息源的准确性、证言的提供顺序等均经过事先的平衡。

测试阶段和去处理阶段 与实验一相同。

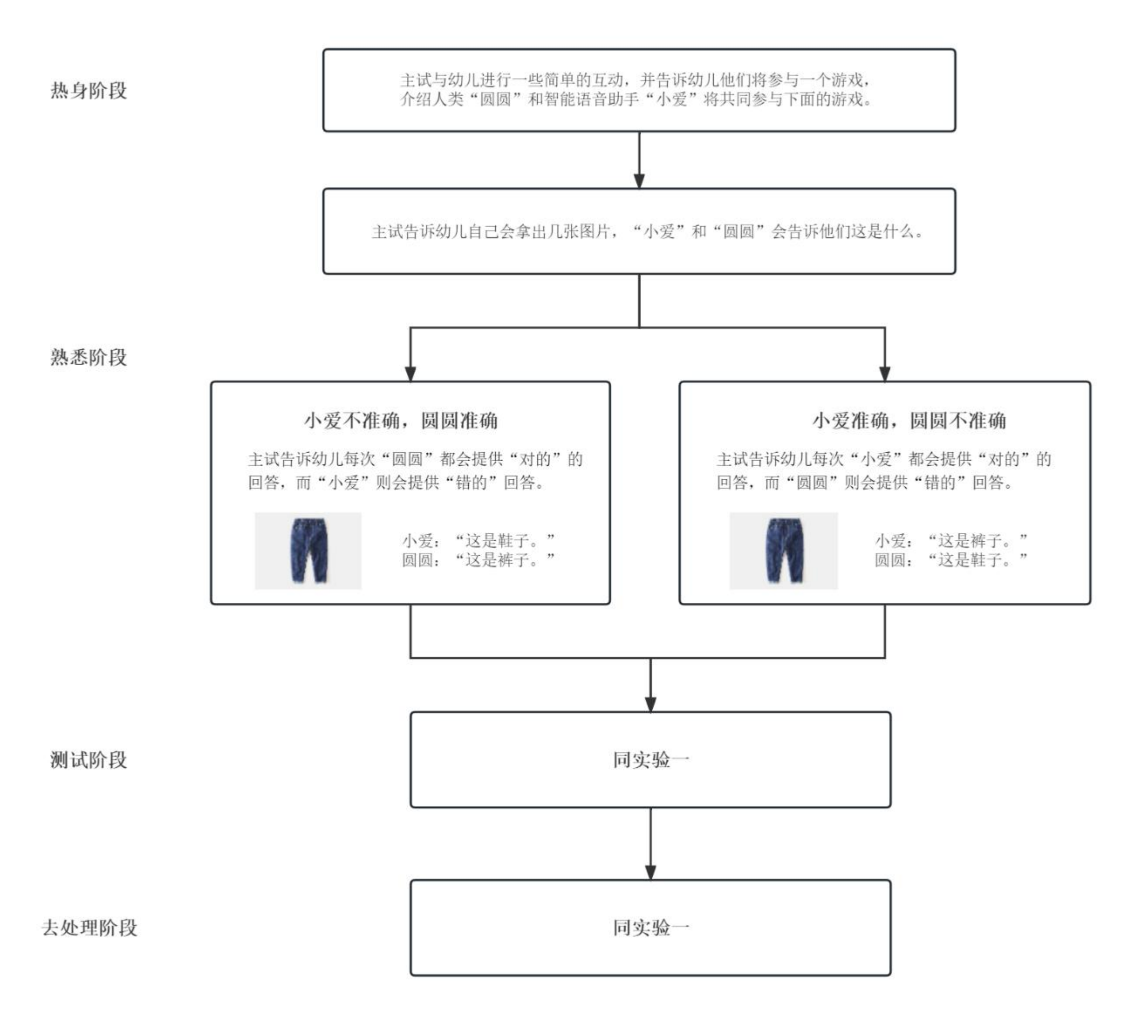


图 7　实验二研究过程流程图

3.4 实验设计

实验采用 4(年龄：3 岁/4 岁/5 岁/成人)×2(准确性条件：“小爱不准确，圆圆准确”VS“小爱准确，圆圆不准确”)×2(问题的领域：自然 VS 社会)三因素混合实验设计，其中准确性条件从 2 准确性(准确 VS 不准确) ×2 信息提供者(人类 VS DVAs)，四种可能情况中选择出来，考虑到本实验操纵的是两种信息源准确性的差异，人类与 DVAs 都准确或都不准确的情况被排除。年龄、准确性条件和领域为组间自变量，因变量为被试对信息提供者的询问选择、证言选择以及被试的最终判断(是 VS 否)与 DVAs“小爱”一致。

3.5 统计分析

与实验一类似，本研究采用了 R4.2.2 版 lme4 软件包中的 glmer 函数和 BOBYQA 优化器建立了“广义线性混合模型”来统计分析结果。

3.6 结果与讨论

（1）幼儿对信息提供者证言的询问意愿

在不同准确性条件下，对幼儿及成人在自然领域和社会领域对 DVAs 的平均询问意愿进行分析，结果如图 8 所示。当 DVAs 失去其准确性时，三个年龄段的幼儿及成人对 DVAs 在自然领域和社会领域的平均询问意愿均下降。

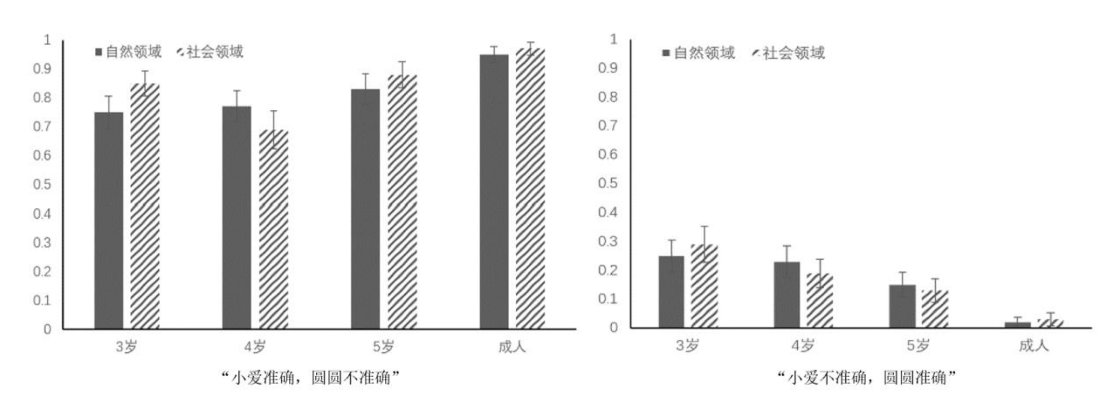


图 8 不同准确性条件下，幼儿与成人在不同领域对 DVAs 的平均询问意愿

将幼儿对不同准确性(准确 VS 不准确)的信息提供者在不同领域(自然 VS 社会)的知识性信任(询问意愿)作为因变量，GLMM 全模型包含以下固定效应：准确性条件、年龄、领域以及三者的两两交互作用，随机变量包括幼儿 ID 和试次，需要特别说明的是，我们曾尝试将准确性条件、年龄、领域的三重交互纳入模型，但发现模型无法拟合，因此并未将其纳入最终模型。通过主成分分析法逐一缩减随机斜率与随机截距，最终模型的结果表明领域主效应不显著(χ^2 = 0.05, df = 1, p = 0.815)，年龄主效应不显著(χ^2 = 1.55, df = 3, p = 0.672)，准确性条件主效应显著(χ^2 = 97.57, df = 1, p < 0.001)，准确性条件与年龄交互作用显著(χ^2 = 25.66, df = 3, p < 0.001)，准确性条件与领域(χ^2 = 0.11, df = 1, p = 0.738)、年龄与领域(χ^2 = 1.81, df = 3, p = 0.613)均不存在交互作用。准确性条件与年龄的交互作用如图 9 所示。对准确性条件进行事后比较发现，幼儿更愿意选择询问准确的信息提供者(t = 28.62, p < 0.001, d = 1.85)，不考虑是人还是 DVAs。

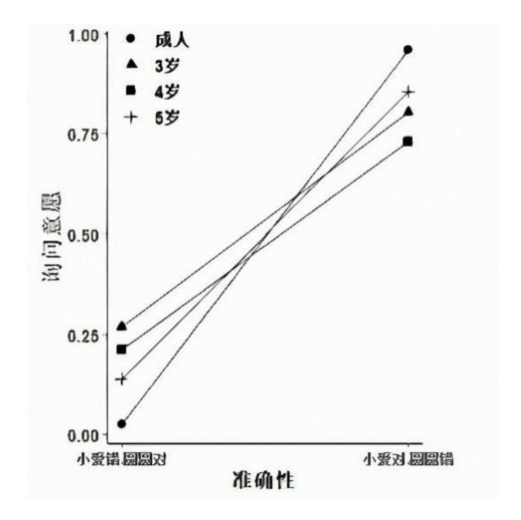


图 9 准确性条件与年龄的交互作用

进一步对准确性条件和年龄的交互作用进行简单效应分析发现，成人与三个年龄段幼儿均更愿意选择询问准确信息提供者(成人：p < 0.001；3 岁：p < 0.001；4 岁：p < 0.001；5 岁：p < 0.001)。在小爱不准确，圆圆准确条件下，相较于三个年龄段的幼儿，成人更愿意选择询问准确信息提供者(成人－3 岁：p = 0.010；成人－4 岁：p = 0 .002 < 0.001；成人－5 岁：p = 0.033 < 0.05)，各年龄组幼儿间的选择无显著差异(3 岁－4 岁：p = 0.999；3 岁－5 岁：p = 0.725；4

岁 - 5 岁：p = 0.606)。在小爱准确，圆圆不准确条件下，相较于 4 岁幼儿，成人更愿意选择询问准确信息提供者(p < 0.001)；各年龄组幼儿间的选择无显著差异(3 岁 - 4 岁：p = 0.406；3 岁 - 5 岁：p = 0.999；4 岁 - 5 岁：p = 0.265)。

以上结果说明，在操纵准确性的条件下，成人与幼儿均更愿意选择询问准确信息提供者。相较于幼儿，成人更愿意选择询问准确信息提供者。

（2）幼儿对信息提供者的外显信任

在不同准确性条件下，对幼儿及成人在自然领域和社会领域对 DVAs 的平均外显信任进行分析，结果如图 10 所示。当 DVAs 失去其准确性时，三个年龄段的幼儿及成人对 DVAs 在自然领域和社会领域的平均外显信任均下降。

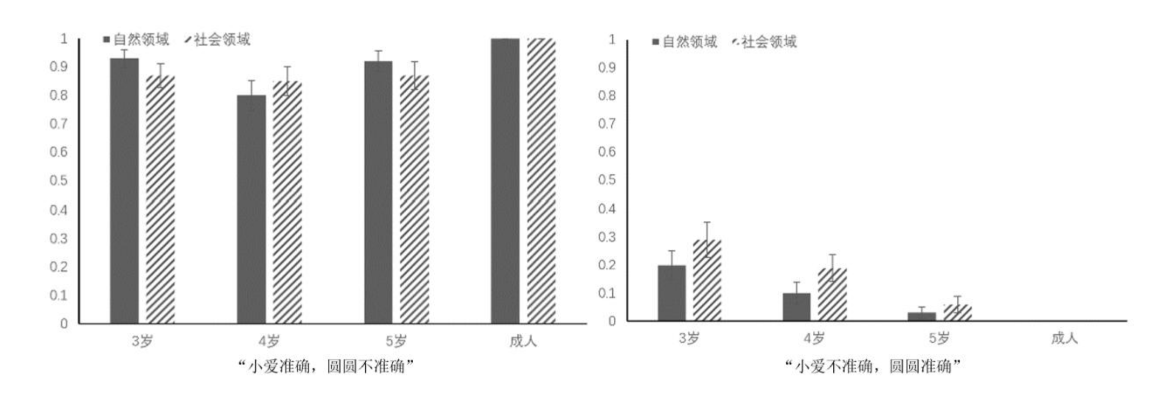


图 10 不同准确性条件下，幼儿与成人在不同领域对 DVAs 的平均外显信任

将幼儿对不同准确性(准确 VS 不准确)的信息提供者在不同领域(自然 VS 社会)的知识性信任(外显信任)作为因变量，GLMM 全模型包含以下固定效应：准确性条件、年龄、领域以及三者的两两交互作用，随机变量包括幼儿 ID 和试次，通过主成分分析法逐一缩减随机斜率与随机截距，最终模型的结果表明领域主效应不显著(χ^2 = 0.26, df = 1, p = 0.612)，年龄主效应显著(χ^2 = 8.10, df = 3, p = 0.044 < 0.05)，准确性条件主效应显著(χ^2 = 103.29, df = 1, p < 0.001)，准确性条件与年龄(χ^2 = 1.29, df = 3, p = 0.731)、准确性条件与领域(χ^2 = 3.13, df = 1, p = 0.077)、年龄与领域(χ^2 = 1.16, df = 3, p = 0.762)均不存在交互作用。对年龄进一步进行事后比较发现，相较于 3 岁幼儿，4 岁、5 岁幼儿和成人均更倾向于选择信任准确的信息提供者(4 岁 - 3 岁：t = 2.85, p = 0.004 < 0.01, d = 0.26；5 岁 - 3 岁：t = 3.95, p < 0.001, d = 0.36；成人 - 3 岁：t = 2.02, p = 0.043 < 0.05, d = 0.18)。对准确性条件进行事后比较发现，幼儿更倾向于选择信任准确的信息提供者(t = 41.27, p < 0.001, d = 2.67)。

以上结果说明，在操纵准确性的条件下，成人与幼儿均更愿意选择信任准确信息提供者。相较于 3 岁幼儿，4 岁、5 岁幼儿和成人均更倾向于选择信任准确的信息提供者。

（3）幼儿对信息提供者的最终采信

在不同准确性条件下，对幼儿及成人在自然领域和社会领域对 DVAs 的平均最终判断进行分析，结果如图 11 所示。当 DVAs 失去其准确性时，三个年龄段的幼儿及成人对 DVAs 在自然领域和社会领域的平均最终判断均下降。

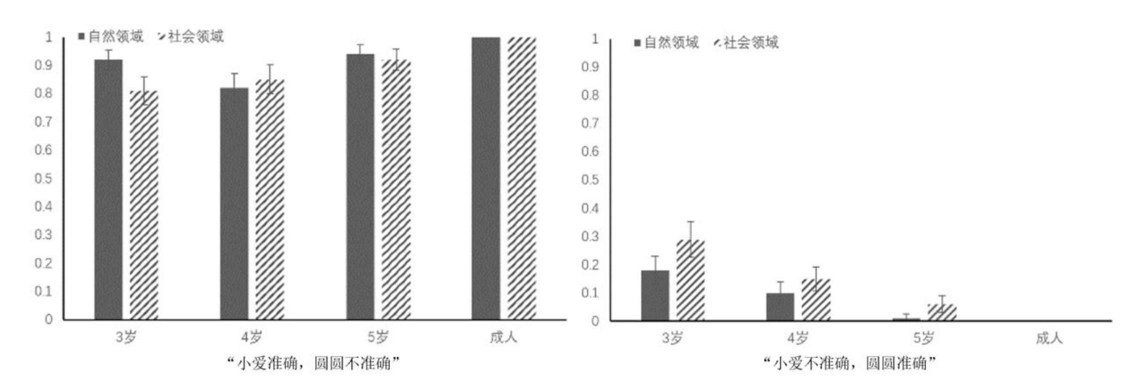


图 11 不同准确性条件下，幼儿与成人在不同领域对 DVAs 的平均最终判断

将幼儿对不同准确性(准确 VS 不准确)的信息提供者在不同领域(自然 VS 社会)的知识性信任(最终判断)作为因变量，GLMM 全模型包含以下固定效应：准确性条件、年龄、领域以及三者的两两交互作用，随机变量包括幼儿 ID 和试次，通过主成分分析法逐一缩减随机斜率与随机截距，最终模型的结果表明领域主效应不显著(χ^2 = 0.19, df = 1, p = 0.662)，年龄主效应不显著(χ^2 = 3.96, df = 3, p = 0.265)，准确性条件主效应显著(χ^2 = 88.39, df = 1, p < 0.001)，准确性条件与年龄(χ^2 = 2.81, df = 3, p = 0.422)、准确性条件与领域(χ^2 = 3.79, df = 1, p = 0.051)、年龄与领域(χ^2 = 0.60, df = 3, p = 0.897)均不存在交互作用。对准确性条件进行事后比较发现，幼儿更倾向于最终信任准确的信息提供者(t = 42.79, p < 0.001, d = 2.76)。

以上结果说明，在操纵准确性的条件下，成人与幼儿均更愿意选择信任准确信息提供者。

4 讨论

本研究在前人研究的基础上修改实验范式以及实验材料，采用冲突信息源范式[15][16]，考察了我国 3~6 幼儿对 DVAs 的知识性信任在不同领域的发展，探究 DVAs 的准确性对幼儿知识性信任的影响，其结果与研究假设基本一致。

幼儿对 DVAs 的知识性信任存在年龄差异。实验一结果表明，不同年龄的幼儿对 DVAs 的知识性信任偏好不同，随着年龄的增长，幼儿表现出更愿意初始信任 DVAs 的偏好。这可能是因为随着年龄的增长，幼儿对 DVAs 有一定的了解，他们更倾向于认为 DVAs 是更可靠的信息提供者。特别是在外显信任与最终判断问题中，相比于 4、5 岁幼儿，6 岁幼儿更愿意选择 DVAs 作为信息提供者。同时，我们可以发现 6 岁幼儿的决策正在向成人靠近，趋于成熟。在操纵智能语言助手准确性的条件下，实验二结果表明，相较于 3 岁幼儿，4、5 岁幼儿和成人均更倾向于选择信任准确的 DVAs，在“小爱不准确，圆圆准确”的条件下，5 岁幼儿的决策已经与成人接近。这些与我们的假设一致，说明随着年龄的增长和认知的发展，学前阶段末期的儿童能够理性判断并选择信任信息提供者提供的证言。

DVAs 的准确性决定了幼儿对其的知识性信任。实验二在实验一的基础上操纵 DVAs 与人类证言的准确性条件，实验二的结果发现，不同年龄段的幼儿和成人在不同领域中都表现出更愿意信任准确信息提供者的偏好，也就是说，幼儿更偏向于将信息提供者实时的准确性作为线索，判断并选择信任相应的信息提供者，当 DVAs 失去准确性后，幼儿对其的知识性信任偏好也随之消失。这强有力地证明了我们的假设，即幼儿对 DVAs 的知识性信任取决于 DVAs 的准确性。对结果进

行具体分析发现，相比于 3 岁幼儿，4、5 岁幼儿和成人表现出对准确信息提供者的更明显的信任偏好，3 岁幼儿对准确性的敏感性较低，这与 Jaswal 等人[9]的研究结果一致，说明随着年龄的增长和认知能力的发展，幼儿对信息的准确性判断能力也随之增强，同时，3~6 岁是幼儿抑制控制快速发展的时期，幼儿在对信息进行理性判断的过程中，抑制其对 DVAs 的信任偏好，而以准确性作为判断的标准。此外，结果表明，即使是 3 岁的幼儿，也能根据信息提供者提供的信息的准确性进行知识性信任的判断，这也与 Danovitch 和 Alzahabi 的研究结果[24]一致。

幼儿对 DVAs 的知识性信任存在领域特殊性。实验一结果表明，相较于社会领域，成人与幼儿在自然领域中更倾向于选择询问 DVAs，5、6 岁幼儿与成人在自然领域对 DVAs 的平均询问意愿、平均选择信任和平均最终判断均高于社会领域。这与我们的假设一致，说明随着年龄的增长和社会经验的增加，幼儿能够判断谁是更好的信息提供者。当涉及到社会领域的问题时，幼儿逐渐认识到具有完整社会属性的人类才能给出更合理的答案，或者说幼儿认识到人类才是社会领域中的专家。同时，研究发现，4 岁幼儿对 DVAs 在自然领域的平均询问意愿和平均选择信任高于社会领域，但在最终判断中，4 岁幼儿表现出了对 DVAs 在自然领域的信任偏好，研究者推测，出现这种左右摇摆的情况可能是因为社会领域的任务比自然领域的任务更为复杂，4 岁幼儿的认知能力还不足以让他们准确、快速判断获得的信息。这个发现也表明 4 岁幼儿已经能对获得的信息进行复杂的分析判断，他们能够认识到不同的信息提供者具有不同的领域专业性，并以此为基础，选择信任领域专业性更高的信息提供者。而在操纵 DVAs 和人类准确性的条件下，成人与幼儿的选择均不存在领域特殊性，在自然领域和社会领域中，成人与幼儿更倾向于选择信任准确的信息提供者。这更加说明 DVAs 的准确性可能是幼儿对其知识性信任的先决条件，准确性是幼儿更重视的好的信息提供者的特征。

此外，本研究也存在不足。首先，本研究在 Girouard-Hallam 和 Danovitch 的研究发表之前已完成了实验设计、数据收集等过程，因此本研究中并未参考其研究中的询问归因阶段(Attribution Trials)，而是侧重于探究不同领域信息以及准确性对幼儿对 DVAs 的知识性信任的影响，未来研究可询问幼儿对 DVAs 的归因等，以进一步探究幼儿对 DVAs 的知识性信任。其次，尽管研究表明，幼儿对信息提供者的偏好与幼儿家中是否有 DVAs 无关[8]。但研究者认为，研究幼儿对 DVAs 的知识性信任发展，仍应当排除幼儿对 DVAs 和人类双方的熟悉性，本研究没有对幼儿家中是否拥有 DVAs 进行前测或后测，仅靠国外研究者的数据，无法代替中国家庭 DVAs 的拥有情况，未来相关研究可对被试家中是否拥有 DVAs 进行调查。此外，本研究在自然领域的实验材料为人工合成的不存在的新异物品，在社会领域中创设的民族与节日均为虚构，实验材料存在生态性的欠缺。

5 结论

(1)幼儿对 DVAs 的知识性信任存在年龄差异，年龄越大的幼儿越倾向于信任 DVAs。相对于幼儿，成人更愿意选择信任 DVAs。

(2)准确性是幼儿和成人对 DVAs 的知识性信任的一个重要标准，幼儿与成人仅对准确的 DVAs 存在知识性信任的偏好。

(3)幼儿与成人对 DVAs 的知识性信任存在领域特殊性，相较于社会领域问题，幼儿与成人更愿意向 DVAs 询问自然领域问题。

参考文献:

[1] Rideout V. The common sense census: Media use by kids age zero to eight[M]. San Francisco, CA: Common Sense Media, 2020. https://www.commonsensemedia.org/research/the-common-sense-census-media-use-by-kids-age-zero-to-eight-2020

[2] Rideout V. The common sense census: Media use by kids age zero to eight[M]. San Francisco, CA: Common Sense Media, 2017. https://www.commonsensemedia.org/research/the-common-sense-census-media-use-by-kids-age-zero-to-eight-2017

[3] Moar J, Escherich M. Voice assistant market: Player strategies, monetisation & market size 2020 - 2024 [J]. Juniper Research, 2020.

[4] Murray G W. Who is more trustworthy, Alexa or mom?: Children' s selective trust in a digital age[J]. Technology, Mind, and Behavior, 2021, 2(3): 1 - 12.

[5] Druga S, Williams R, Breazeal C, et al. "Hey Google is it OK if I eat you?" Initial Explorations in Child-Agent Interaction[J]. Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children, 2017: 595 - 600.

[6] Oranç C, Ruggeri A. "Alexa, let me ask you something different" children' s adaptive information search with voice assistants[J]. Human Behavior and Emerging Technologies, 2021, 3(4): 595 - 605.

[7] 张耀华, 朱莉琪. 认识性信任: 学龄前儿童的选择性学习[J]. 心理科学进展, 2014, 22(001): 86 - 96. (Zhang Y H, Zhu L Q. Epistemic trust: how preschoolers selectively learn from others[J]. Advances in Psychological Science, 2014, 22(001): 86 - 96.)

[8] Girouard-Hallam L N, Danovitch J H. Children' s trust in and learning from voice assistants[J]. Developmental Psychology, 2022, 58(4): 646 - 661.

[9] Jaswal V K, Pérez - Edgar K, Kondrad R L, et al. Can't stop believing: Inhibitory control and resistance to misleading testimony[J]. Developmental Science, 2014, 17(6): 965 - 976.

[10] Jaswal V K, Carrington Croft A, Setia A R, et al. Young children have a specific, highly robust bias to trust testimony[J]. Psychological Science, 2010, 21(10): 1541 - 1547.

[11] Tong Y, Wang F, Danovitch J. The role of epistemic and social characteristics in children' s selective trust: Three meta - analyses[J]. Developmental Science, 2020, 23(2): e12895.

[12] Okanda M, Itakura S. Do bilingual children exhibit a yes bias to yes-no questions? Relationship between children' s yes bias and verbal ability[J]. International Journal of Bilingualism, 2010: 14(2), 227 - 235.

[13] 李婷玉, 刘黎, 李宜霖, 朱莉琪. 冲突情境下幼儿的选择性信任和信念修正[J]. 心理学报, 2018: 50(12), 1390 - 1399. (Li T Y, Liu L, Li Y L, Zhu L Q. Preschoolers' selective trust and belief revision in conflicting situation[J]. Acta Psychologica Sinica, 2018: 50(12), 1390 - 1399.)

[14] Jaswal V K. Preschoolers favor the creator's label when reasoning about an artifact's function[J]. Cognition, 2006, 99(3): 83 - 92.

[15] Koenig M A, Clément F, Harris P L. Trust in testimony: Children' s use of true and false statements[J]. Psychological Science, 2004, 15(10): 694 - 698.

[16] Koenig M A, Harris P L. Preschoolers Mistrust Ignorant and Inaccurate Speakers[J]. Child Development, 2005, 76(6): 1261 - 1277.

[17] Landrum A R, Mills C M, Johnston A M. When do children trust the expert? Benevolence

information influences children's trust more than expertise[J]. Developmental Science, 2013, 16(4): 622 - 638.
[18] Li Q-G, Heyman G D, Xu F, et al. Young children' s use of honesty as a basis for selective trust[J]. Journal of Experimental Child Psychology, 2014, 117: 59 - 72.
[19] Liu D, Vanderbilt K E, Heyman G D. Selective trust: Children's use of intention and outcome of past testimony[J]. Developmental Psychology, 2013, 49(3): 439 - 445.
[20] Xu F, Evans A D, Li C, et al. The role of honesty and benevolence in children' s judgments of trustworthiness[J]. International Journal of Behavioral Development, 2013, 37(3): 257 - 265.
[21] Corriveau K, Harris P L. Preschoolers continue to trust a more accurate informant 1 week after exposure to accuracy information[J]. Developmental Science, 2009, 12(1): 188 - 193.
[22] Kinzler K D, Corriveau K H, Harris P L. Children' s selective trust in native-accented speakers[J]. Developmental Science, 2011, 14(1): 106 - 111.
[23] Yarosh S, Thompson S, Watson K, Chase A, Senthilkumar A, Yuan Y, Brush A B. Children asking questions: speech interface reformulations and personification preferences[J]. In Proceedings of the 17th ACM conference on interaction design and children, 2018: 300 - 312. Trondheim Norway.
[24] Danovitch J H, Alzahabi R. Children show selective trust in technological informants[J]. Journal of Cognition and Development, 2013, 14(3): 499 - 513.
[25] Einav S, Levey A, Patel P, et al. Epistemic vigilance online: Textual inaccuracy and children' s selective trust in webpages[J]. British Journal of Developmental Psychology, 2020, 38(4): 566 - 579.
[26] Xu Y, Warschauer M. What are you talking to?: Understanding children's perceptions of conversational agents[J]. In Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems,2020: 1 - 13. Honolulu HI.
[27] Girouard-Hallam L N, Streble H M, Danovitch J H. Children's mental, social, and moral attributions toward a familiar digital voice assistant[J]. Human Behavior and Emerging Technologies, 2021: 3(5), 1118 - 1131.
[28] Kahn Jr P H, Gary H E, Shen S. Children's social relationships with current and near - future robots[J]. Child Development Perspectives, 2013: 7(1), 32 - 37.
[29] 张璟, 李婷敏, 郑沁婷, 周双珠, 熊红星. 线索冲突情境下幼儿对不同领域知识的选择性信任特点[J]. 心理科学, 2020: 43(2), 371 - 377. (Zhang J, Li T M, Zheng Q T, Zhou S Z, Xiong H X. Preschoolers' selective trust characteristics of knowledge in different domains in the clue conflict situation[J]. Journal of Psychological Science, 2020: 43(2), 371 - 377.)
[30] Girouard-Hallam L N, Danovitch J H. Children' s judgments about asking for past, present, and future information from Google and a person[J]. In Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 2022, 44(44). California.
[31] Boseovski J J, Thurman S L. Evaluating and approaching a strange animal: Children' s trust in informant testimony[J]. Child Development, 2014: 85(2), 824 - 834.
[32] Toyama N. Development of the selection of trusted informants in the domain of illness[J]. Infant & Child Development, 2017: 26(6), e2039.
[33] Clément F, Koenig M, Harris P. The ontogenesis of trust[J]. Mind & Language, 2004: 19(4), 360 - 379.

[34] Corriveau K H, Einav S, Robinson E J, Harris P L. To the letter: Early readers trust print-based over oral instructions to guide their actions[J]. British Journal of Developmental Psychology, 2014: 32(3), 345 - 358.
[35] Einav S, Robinson E J, Fox A. Take it as read: Origins of trust in knowledge gained from print[J]. Journal of Experimental Child Psychology, 2013: 114(2), 262 - 274.
[36] Keil F C, Stein C, Webb L, Billings V D, Rozenblit L. Discerning the division of cognitive labor: an emerging understanding of how knowledge is clustered in other minds[J]. Cognitive Science, 2008: 32(2), 259 - 300.

(通讯作者:李婷玉 E-mail: lity325@zjnu.edu.cn)

作者贡献声明

李喆：进行实验，分析数据，论文撰写与最终版本修订；
刘浙豫：设计研究方案，进行实验；
毛珂好，李婉婷，李晶：论文最终版本修订；
李婷玉：设计研究方案，论文最终版本修订。